Généralités sur talc et chlorites

Pour aborder le contexte géologique de notre objet d'étude, nous proposons une approche de la minéralogie des minéraux ubiquistes que sont le talc et la chlorite. Nous présentons aussi les modes de formation de ces minéralisations dans le but d'introduite les notions générales qui seront fréquemment employées dans cette étude.

(1) Minéralogie

Le talc est un silicate de magnésium hydroxylé appartenant au groupe des phyllosilicates. Il est le minéral le plus tendre (1 sur l'échelle de Mohs - rayable à l'ongle). Il cristallise dans le système cristallin monoclinique ou triclinique à Trimouns (Martin et al., 1999).
Sa formule chimique est $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Sa structure est un empilement de couches TOT (T : tétraédrique - O : octaédrique). L'unité de base ou feuillet élémentaire (TOT) a pour épaisseur 9.36 **Å** soit de l'ordre de 10^{-10} mètre (**Fig. I-1a**). Les sites tétraédriques sont remplis par les atomes de silices et les sites octaédriques par ceux de magnésium ; on peut néanmoins observer des substitutions dans les deux types de sites notamment avec le fer ou l'aluminium (Martin et al., 1999 et références incluses), ces changements n'influent que peu sur la composition chimique globale (silicium et magnésium).

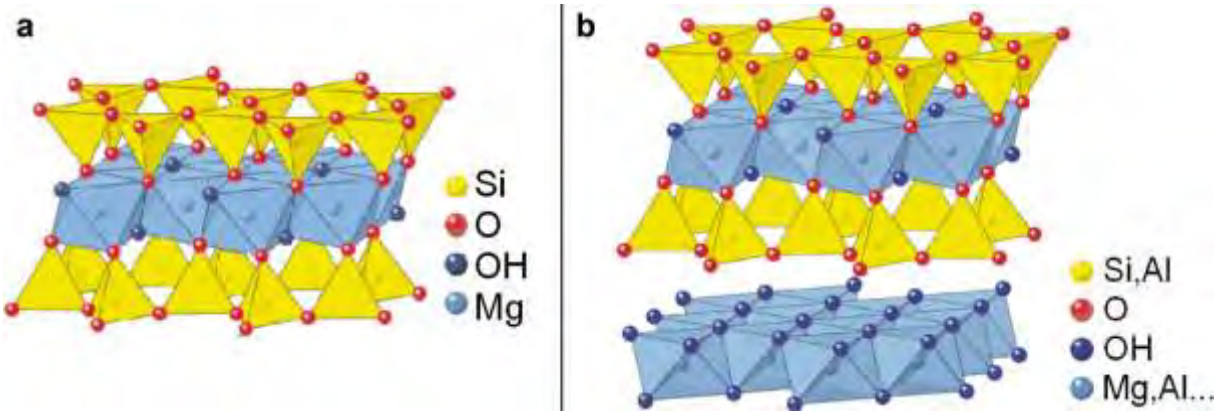

Figure I-1 : Structure minéralogique (**a**) du talc et (**b**) de la chlorite. Les feuillets « T » sont en jaune et les « O » en bleu.

Le comportement du talc à grande échelle est directement lié à cette structure minéralogique et à sa composition chimique. Les liaisons entre les feuillets (entre tétraèdres) sont extrêmement faibles faisant du talc un matériel incompétent. Ainsi à l'échelle d'un gisement les talcitites sont facilement déformées.

Le groupe des chlorites, quant à lui, représente une solution solide complexe. Les chlorites appartiennent à la famille des phyllosilicates. Ces minéraux sont des aluminosilicates pouvant contenir nombre d'autres éléments, leur formule globale peut être écrite sous la forme :

$(R^{2+},R^{3+},\square)_6$ $[(Si_{4-x},Al_x)_4O_{10}](OH)_8$ (e.g. Wiewióra et Weiss, 1990) où R est un cation (Mg,Fe,Mn,Ni,Na,Li,Al) et $\square$ les lacunes de site octaédrique.
Elles cristallisent dans le système cristallin monoclinique, triclinique, ou orthorhombique. Leur structure minéralogique est proche de celle du talc (**Fig. I-1b**), un feuillet octaédrique isolé de type brucite ce rajoutant à la succession TOT du talc. L'épaisseur de cette argile TOT-O est d'environ 14 **Å**. Les substitutions dans les différents sites sont nombreuses et sont la cause de la grande variété du groupe des chlorites. Suite notamment aux travaux de Bayliss (1975), la classification des chlorites dénombre une dizaine de pôles purs en fonction des proportions d'élément clef comme le magnésium, le fer, le manganèse, etc. Des notions plus précises sur la minéralogie des chlorites seront exposées dans le chapitre III pour introduire des notions utilisées dans la géothermométrie de ce minéral.
Comme le talc, la chlorite est un matériau assez facilement déformable de par sa structure en feuillet. La chlorite la plus abondante sur Trimouns est une chlorite magnésienne dont le pôle pur est le clinochlore : Mg_3 (Mg_2Al) $[Si_3AlO_{10}](OH)_8$.

(2) Formation du talc

Le talc et la chlorite sont des espèces minérales largement répandues. Nous abordons ici la mise en place des minéralisations de talc qui conduisent à la formation de gisements. La minéralisation des chlorites n'est évoquée que lorsqu'elle est complémentaire au talc.

Quatre paramètres majeurs contrôlent la formation du talc.

1) **La roche mère**.

Les gisements de talc sont issus de roches mères soit magnésiennes (magnésites, dolomies, ou serpentinites) soit siliceuses (quartzites ou pélites gréseuses).

2) **Le fluide**.

C'est sous l'action de fluides hydrothermaux que sont apportés ou mis en solution les éléments chimiques nécessaires à la formation du talc : MgO, SiO_2, CO_2 et H_2O. On parlera dans ces cas d'altération métasomatique : transformation à l'état solide de roches par interaction avec un fluide.

3) **Les structures géologiques**.

Dans tous les types de gisement, les structures tectoniques ont un contrôle certain sur la circulation des fluides à grande échelle mais aussi pour la micro-fracturation qu'elle engendre. C'est fréquemment dans des zones de cisaillement que se développe le minéral blanc. La porosité de la roche mère a également un rôle déterminant dans la circulation des fluides minéralisateurs.

4) **Le métamorphisme**.

Ce dernier a son importance pour apporter des conditions de pression et de température suffisantes pour engendrer la transformation.

On distingue trois grands types de mode de formation pour les gisements de talc en fonction des roches mères rencontrées.

Type 1) : les roches magnésiennes carbonatées (type dolomie).

C'est par apport de silice sur les carbonates que la réaction se fait. Cette réaction a été notamment décrite pour la transformation des dolomies en talcitites par Parseval et al. (2004) à Trimouns :

$3CaMg(CO_3)_2 + 4SiO_2(aq) + 6H^+ = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 3Ca^{2+} + 6CO_2 + 6H_2O$

dolomite talc

Les conditions P-T pour ce type de gisement sont de 250°C à 350°C, et de 2.5 kbar (Parseval, 1992).
A un plus haut degré de métamorphisme, on ne crée plus de talc à partir de la dolomite mais de la trémolite (Skippen, 1974 ; Deer et al., 2009). Talc, trémolite et calcite peuvent également coexister mais à dans des conditions de températures supérieures à celles de formation de la minéralisation de Trimouns (env. 450°C - Bowers et Helgeson, 1983).

Type 2) : les roches magnésiennes non carbonatées ultrabasiques (type serpentine).
Les roches mères ultrabasiques peuvent soit être affectées par un apport de silice :
$Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + SiO2 = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + H_2O$ – réaction non équilibrée (Deer et al., 2009) ;
serpentine *talc*
soit un apport de dioxyde de carbone :
$2Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 3CO_2 = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 3MgCO_3 + 3H_2O$ (Turner, 1948).
serpentine *talc* *magnésite*
Ces types de gisements se forment avec des températures pouvant avoisiner les 500°C mais généralement inférieures et à des pressions autour du kilobar.

Type 3) : les roches siliceuses.
Ce mode de minéralisation se réalise par apport de magnésium sur roches siliceuses (et surtout silico-alumineuses). Une telle réaction permet également de créer du talc par mobilisation en solution de la silice contenu dans ces roches qui ajoutée au magnésium dans des fluides minéralisateurs précipite en talc :
$4SiO_2(aq) + 3Mg^{2+} + 4H_2O = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 6H^+$ (Parseval et al., 2004).
silice *talc*

Trimouns est un exemple de couplage entre les réactions de type 1 et 3.
Il existe également quelques rares gisements d'origine sédimentaire qui se présentent entre des couches de sédiments souvent carbonatés résultant de l'évolution diagénétique de sédiments magnésiens. Ces talcs présentent en général une couleur sombre avec un taux de matière organique inférieur à 1%. On parle alors des « black talc » (Li et al., 2013).

(3) Répartition

a. Dans le monde

Le talc est un minéral assez commun qui se forme sur tous les continents. Comme dit précédemment il existe trois grands types de mode de formation de gisement de talc. Le planisphère ci-dessous (**Fig. I-2**) propose une liste non exhaustive des principaux gisements de talc du monde. Les données comportent les gisements des principaux groupes industriels exploitant le talc.

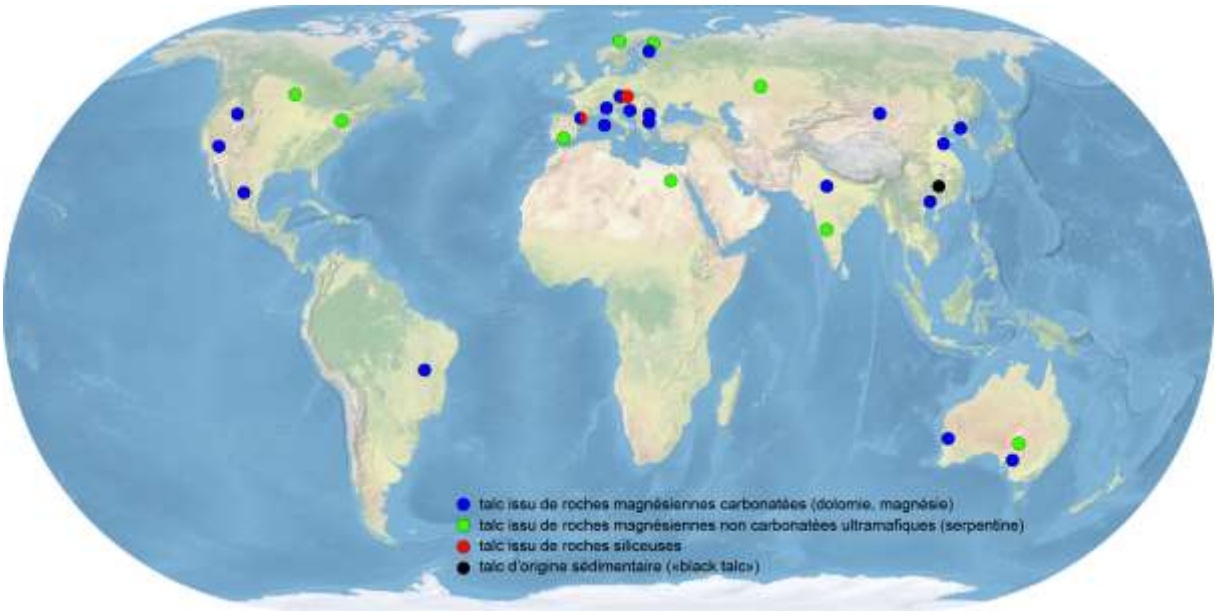

Figure I-2 : Répartition des gisements majeurs de talc dans le monde.

Les trois types de minéralisations exposé précédemment sont toujours associés à des zones de failles ayant permis la circulation des fluides dans la roche mère. Il y a peu d'étude sur les contextes géologiques structuraux des modes de formation des différents gisements de talc. Il est néanmoins observé qu'à l'échelle de l'Europe c'est le métamorphisme régional en lien avec le cycle varisque ou alpin qui a permis de créer les conditions nécessaires (Moine et al., 1989).
Ce sont les minéralisations de type 1 (talc issu de carbonates) qui constituent la majeure partie des gisements de talc. 75% de la production mondiale de talc est tirée des gisements de type 1 et de ceux du type 3 (talc issu de roche siliceuse). Ces deux modes de formation sont souvent couplés entre eux.

b. Dans les Pyrénées

Les Pyrénées contiennent de nombreux « gisements » de talc souvent couplés à de la chlorite (Aranitis, 1967 ; Fortuné, 1971 ; Fortuné, 1972). Actuellement, la plupart des gisements anciennement décrits ne sont plus exploités ou épuisés. Le seul vrai gisement économiquement rentable est Trimouns.
Nous avons tout de même choisi de parler de « gisement » pour toutes les anciennes exploitations décrites par Aranitis (1967), Fortuné (1971, 1972), (**Fig. 0-1** et **Fig. I-3**).
Les occurrences talqueuses (même ténues) sont légions d'après les indices relevés dans les notices des cartes géologiques du BRGM.
La plupart des gisements, sont situés dans l'est des Pyrénées et préférentiellement dans des zones de failles affectant les terrains paléozoïques (***ZA*** ou ***MNP***). Ces gisements sont toujours compris entre des roches carbonatées (plutôt dolomitisées) et silicatées/silico-alumineuses ; l'altération de ces dernières donnant préférentiellement de la chlorite.
Les roches mères du talc sont des dolomies siluriennes ou des calcaires dolomitisés du Dévonien comme au gisement de Las Embollas essentiellement talqueux (Fortuné, 1971). Les chloritites ont pour origine des séries micaschisteuses (Trimouns, La Porteille, Montner), parfois en contact des granites qui présentent aussi des traces de chloritisation (Col de Jau), (Aranitis, 1967).

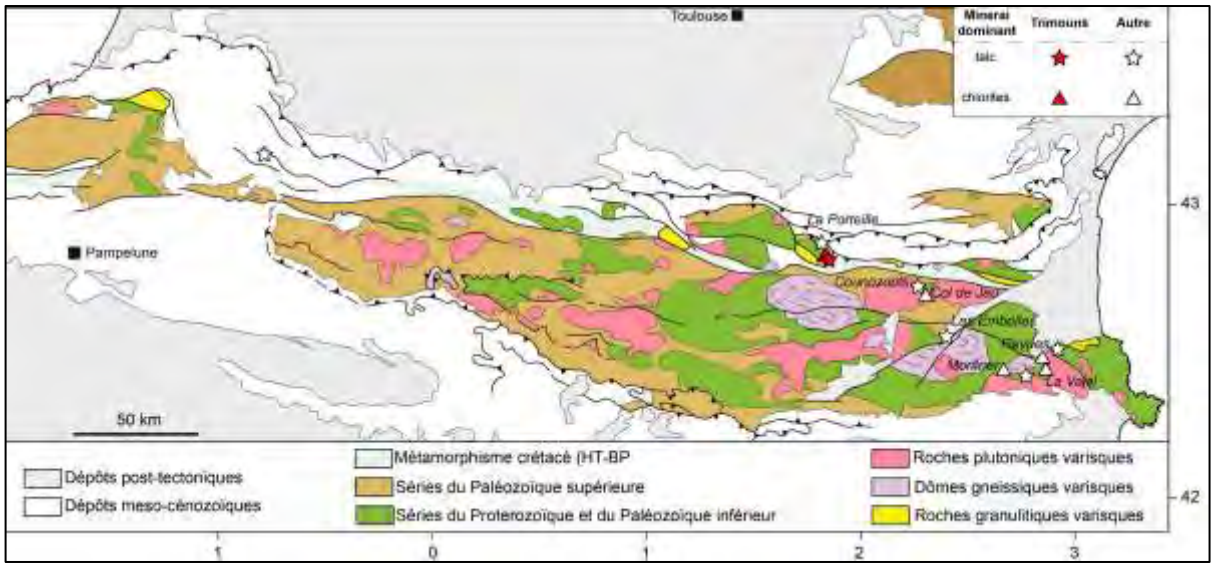

Figure I-3 : « Gisements » de talc-chlorite dans les Pyrénées. Modifiée d'après Boutin et al. (2015).

Il n'y a pas de gisement de talc lié à l'altération de roches ultrabasiques. On pourra néanmoins trouver des affleurements où talc et serpentine sont mêlés comme dans l'Agly (Aubray et al., 2015).
Les conditions de formation de ces minéralisations n'ont été estimées qu'à Trimouns et autour de 300°C et 2 à 3 kbar (Parseval, 1992 ; Boiron et al., 2005). Boulvais et al. (2006) relie la genèse de ces gisements à la circulation de fluide d'origine marine infiltrés en profondeur.

c. En Ariège

Avec Trimouns, la Porteille et d'autres occurrences mineures (Pradas, Salvanière…), le territoire du département de l'Ariège est riche en minéralisation de talc et de chlorites.
Déjà au Néolithique, le talc était utilisé dans la région. Vers 11550 avant JC, le minéral blanc était associé à des pigments naturels pour donner les peintures rupestres de la grotte de Niaux (**Fig. I-4**) situé à 17 km de Trimouns. Plusieurs statues en talc furent découvertes sur des sites comme Montségur et datés autour du XII^{ème} siècle. Cependant rien ne prouve que Trimouns fût la seule source de talc pour la confection de ces objets.

Figure I-4 : Peintures rupestres de la grotte de Niaux.

➢ Trimouns et l'exploitation industrielle

Il est impossible de parler du gisement de Trimouns sans évoquer l'activité d'extraction qui l'a transformé durablement et mis à nu depuis plus d'un siècle, aussi, voici un bref rappel de l'histoire autour de Trimouns.

Avant la période industrielle, le site, bien que connu de tous les « locaux », ne faisait pas l'objet d'une attention particulière.

Les premières tentatives d'exploitation du gisement commencèrent au milieu du XIXème siècle. Tout d'abord, le minerai était descendu dans la vallée à dos d'âne ou dans des chariots tirés par des bœufs. Le talc était ensuite broyé au village de Luzenac dans des moulins à farine (**Fig. I-5**).

Figure I-5 : Transport du talc à Luzenac au début du XX^{ème} siècle.

Entre 1850 et 1888, des productions de plusieurs centaines de tonnes par an permirent d'alimenter les vignerons Ariègeois (le talc étant associé au sulfate de cuivre pour traiter les vignes) et les apothicaires toulousains qui utilisaient cette roche dans leur préparation. L'extraction industrielle sera vraiment initiée par le développement des marchés papetiers et l'arrivée du chemin de fer dans la haute vallée de l'Ariège. Ainsi en 1888, la production atteint 800 tonnes de minerai.

En 1905 la société anonyme des « talcs de Luzenac » fut créée et la production atteint alors les 20 000 tonnes avec les nouveaux moyens mis en œuvre. Avec l'installation d'un premier téléphérique (**Fig. I-6**), la production va s'accroître rapidement pour atteindre 50 000 tonnes en 1914, puis progresser régulièrement jusqu'à 75 000 tonnes en 1930 et 100 000 tonnes en 1950.

Figure I-6 : Le premier téléphérique à Luzenac.

En 1961, la construction de la route actuelle assure une meilleure liaison entre la carrière et l'usine.
La mécanisation de l'activité d'extraction et la forte demande en talc dans l'industrie va permettre un accroissement significatif du minerai extrait pour atteindre plus de 400 000 tonnes au début du XXI^{ème} siècle soit 8 % de la production du marché mondial.
Depuis 2011 la carrière est exploitée par l'entreprise Imerys Talc qui, avec 9 carrières et 15 usines de par le monde, fournit 15% de la production mondiale de talc en ce début de siècle.

➢ Trimouns et l'activité scientifique

La taille du gisement de Trimouns et les autres affleurements de talc du massif du Saint Barthélémy ont fait affluer nombre de géologues qui ont étudié les terrains du ***MNP***. Des premiers travaux recensés en 1865 à notre étude une cinquantaine de publications scientifiques (dont une dizaine de thèses) portèrent sur le massif du Saint Barthélémy et/ou Trimouns.
Les travaux réalisés jusqu'à la première moitié du XX^{ème} siècle étaient surtout axés autour de la description des roches, les études sur l'altération des dolomies et sur les fluides responsables de la minéralisation commencèrent avec Capdecomme (1950) et poursuivis notamment par Moine et al (1979), Moine et al. (1982), Moine (1982), Moine et al. (1989), et Parseval (1992).
L'étude géochronologique de Schärer et al. (1999) montre que la minéralisation a un âge albien soit en phase pré-orogénique du cycle alpin. Enfin Boulvais et al. (2006) démontre que le fluide hydrothermal est dérivé de l'eau de mer, et qu'il a circulé à travers la croûte continentale.